

低溫對鋸緣青蟹麻醉效果之研究

林峰右¹·吳育甄^{1,2*}·胡益順¹·魏梓傑¹·葉信利¹

¹行政院農業委員會水產試驗所海水繁養殖研究中心

²國立成功大學海洋科技與事務研究所

摘要

低溫是降低甲殼類動物活動能力的常用操作方法，用以減少其在商業銷售過程中產生損傷，同時確保操作人員的安全。本研究探討不同低溫環境下，鋸緣青蟹 (*Scylla serrata*) 出現的麻醉反應及回復情形。試驗結果顯示，鋸緣青蟹急速曝露至水溫 12°C 時，會開始出現麻醉現象，水溫越低麻醉所需時間越短，但回復活動力時間則無顯著差異。長時間曝露於低水溫環境時，回復時間會隨著溫度降低而拉長；在 6°C 水溫曝露 60 min 後，鋸緣青蟹會開始出現死亡現象，活存率降至 83.3%。於 6°C 低溫耐受性試驗回溫蓄養 14 天後，曝露低溫時間達 60 與 120 min 組均出現死亡，活存率分別為 83.8% 與 66.7%。

關鍵詞：鋸緣青蟹、麻醉、低溫、動物福祉

前言

全球海水蟹類捕撈及養殖產量逐年增加，根據 FAO 統計資料，2017 年海水蟹類產量達 219.9 萬噸，其中 179.6 萬噸來自捕撈漁業，40.3 萬噸由水產養殖所生產，而其中青蟬屬 (*Scylla*) 養殖產量達 26.8 萬公噸，佔養殖蟹類總產量的 65% (FAO, 2019)。儘管海水蟹類有廣大的市場規模，但因其具有雙螯，不管在進行試驗研究，或是商業銷售過程的捕撈、網綁及包裝等，螃蟹相互之間或操作者都可能受到攻擊而受傷，且就動物福祉度角度而言，也應盡量避免讓其遭受不必要的傷害與緊迫，但目前並沒有標準化的操作方法。

水產生物麻醉 (anesthetization) 或固定 (immobization) 的主要目的係為了在運輸或操作過程中，使其保持鎮靜 (Summerfelt and Smith, 1990)。麻醉可減少緊迫，降低生物的自發性運動，同時在手術過程中減少其感官知覺 (Spath and Schweickert, 1977; Sneddon, 2002)。相較於甲殼類，魚類麻醉相關資料文獻相對較為完整，魚類常用

的麻醉劑有 quinaldine、quinate、MS-222、benzocaine 及 2-phenoxyethanol (2-PE) 等 (Summerfelt and Smith, 1990)。然而多數的麻醉藥劑對於甲殼類動物的麻醉效果並不理想，研究報告中指出 2-PE 為魚類的全身麻醉劑，對於魚類的麻醉誘導及恢復時間快，可重覆使用 (Summerfelt and Smit, 1990)，對於軟體動物腹足類也有麻醉效果 (何與王, 1998)，但對於蝦類的麻醉效果則不佳。相關研究中指出，600 ppm 的 2-PE 仍無法使草蝦在 1 hr 內被麻醉，雖然繼續提高 2-PE 濃度，最後可達到麻醉效果，並減少誘導麻醉的時間，但其使用濃度遠比魚、貝類要高，且麻醉誘導時間也相對較長 (許, 1998)。

由於近年來對於水產動物福祉的認知逐漸提高，甲殼類動物的宰殺處理過程也逐受重視 (EFSA, 2005)。英國皇家防止虐待動物協會 (Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals, RSPCA) 倡導在宰殺甲殼類時應盡量減少牠們對於痛的感知 (RSPCA, 2019)。目前有許多方法可用於麻醉和安樂死甲殼類動物，如冷凍、穿透神經節、以氯化鎂 (MgCl₂) 鹽浴、電擊、空氣冷卻器、冰浴或高溫水浴等，其中使用空氣冷卻器降溫和冰水來進行麻醉，是用來使甲殼類動物喪失反應

*通訊作者/臺南市七股區三股里海埔 4 號, TEL : (06)7880461 ext. 228; E-mail: ycwu@mail.tfrin.gov.tw

活動能力的常用方法 (Weineck *et al.*, 2018)。

如何高效、快速的固定及減少水產生物潛在的痛苦壓力，以符合動物福祉是操作者追求的目標 (Albalat *et al.*, 2010; Fotedar and Evans, 2011; Neil, 2012)。然而，即使動物福祉相關議題日愈受到重視，迄目前為止，魚類是否具有感受疼痛的能力仍然備受爭議。但已有許多文獻報告指出，硬骨魚類具有與陸地脊椎動物相似的傷害感受器，使用麻醉劑可避免魚隻遭受不必要的傷害與壓迫 (Sneddon *et al.*, 2003; Braithwaite and Boulcott, 2007)。至於甲殼類動物，雖然科學家仍然認為難以證明其對於疼痛有感受能力和意識 (Stevens *et al.*, 2016; Diggles, 2018)，但有研究認為甲殼動物具有對溫度敏感的神經元 (Tania and Kuramoto, 1998)，能夠區分溫度變化並充分反應 (Lagerspetz and Vainio, 2006)。例如，稚蟹本能上會避開較冷的環境，但一旦水溫環境過熱時，則會被誘導游到更深的低水溫處 (Forward, 1990; Payette and McGaw, 2003)。

在甲殼類動物的處理方面，目前瑞士和義大利部分區域制定了龍蝦宰殺處理方法的新規定，禁止以沸騰的高溫烹煮仍然活著的龍蝦 (Weineck *et al.*, 2018)。歐洲食品安全管理局 (European Food Safety Authority, EFSA) 動物健康與福祉科學諮詢小組認為將動物放入冷水中並加熱至沸點，可能會導致甲殼類動物的疼痛和痛苦 (EFSA, 2005)，贊同以冰水、低溫氣體、丁香油 (clove oil) 浸泡和電擊作為人道處理甲殼類動物的方法。Puri and Faulkes (2015) 研究證實，小龍蝦的傷害感受器對熱有反應，但在低溫環境則未發現有反應的證據。甲殼類動物在低溫環境下，生理變化之指標性神經調節物質 - 章胺素 (octopamine) 和血清素 (serotonin) 會進行自我調節，例如藍蟹 (*Callinectes sapidus*) 置於低水溫環境 5 min 時，兩神經調節物質濃度出現明顯變化，其中章胺素濃度增加，血清素濃度降低 (Weineck *et al.*, 2018)，亦即在低溫環境時，甲殼類會出現基礎代謝力降低的反應，進一步還會呈現昏迷無反應力的麻醉現象。

本研究旨在探討鋸緣青蟹 (*Scylla serrata*) 在不同的低溫環境下之麻醉反應，進一步了解麻醉所需時間及在室溫下之回復情形及是否會影響後續的養殖存活率，研究成果可作為養殖操作過程

中，減少鋸緣青蟹之緊迫、斷肢及操作人員受到攻擊等問題之參考。

材料與方法

一、試驗材料

試驗的鋸緣青蟹購買自屏東野捕的大眼幼蟲期鋸緣青蟹幼苗，於水產試驗所海水繁養殖研究中心室外土池培育約 5 個月後，隨機捕撈，移至標準化塑膠箱中 (水量 8 L) 單獨飼養，每天投餵約體重 10% 的生餌，蓄養 1 週，蓄養期間水溫約在 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 間，鹽度 33 psu。

二、低溫麻醉溫度測試試驗

將經消毒過濾的海水 (33 psu) 注入 10 L 水桶中，於 -30°C 冷凍庫結凍為海水冰塊，敲碎後放入已注入消毒過濾海水的 36 L 塑膠桶中，測定水溫達試驗溫度後供後續試驗使用。

隨機取 3 隻鋸緣青蟹 (150 - 350 g) 放入已降溫至試驗溫度的水體中，觀察是否出現低溫麻醉現象，如無，則再隨機選取 3 隻，置於更低的試驗水溫進行測試。低溫麻醉溫度測試試驗自 20°C 開始，每調降 2°C (18°C 、 16°C 、 14°C 、 12°C) 就放入 3 隻鋸緣青蟹，每試驗溫度觀察 10 min (Quesada *et al.*, 2011)，直到鋸緣青蟹於該低溫水體中開始出現完全僵硬期 (total pereopod stiff) (Table 1) 現象時，以該溫度進行後續的低溫麻醉試驗。

三、低溫麻醉試驗

根據上述低溫麻醉溫度測試試驗結果，得知鋸緣青蟹於 12°C 時開始出現完全僵硬期狀態，因此自 12°C 開始進行低溫麻醉試驗。

將經消毒過濾的海水 (33 psu) 注入 36 L 塑膠桶中，以海水冰塊分別降溫至 12、10、8、 6°C 等 4 個溫度。將蓄養於室溫海水水體 ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) 一週，平均重量為 231.4 ± 74.8 g 的鋸緣青蟹，分別放入各試驗溫度海水中，每組 6 隻，計算從放入至蟹體呈現麻醉狀態所需的時間，試驗期間持續以曝氣石進行打氣。完成麻醉之後，將螃蟹移

出低溫海水，放回室溫 (25°C) 海水中，計算回復時間，同時記錄其在低溫麻醉及室溫回復過程中的行為表現。

四、持續低溫耐受性試驗

進一步探討持續低溫環境下，鋸緣青蟹回復時間是否延長、對其後續活存率之影響以及低溫耐受的極限時間，以作為養殖及操作管理之麻醉應用。

(一) 低溫耐受性試驗

供試之鋸緣青蟹平均重量為 191.4 ± 36.2 g，分 8 組，每組 6 隻，製備 8°C 及 6°C 低溫海水，試驗期間以曝氣石持續打氣。將鋸緣青蟹分別置於 8°C 及 6°C 海水中 1、2、3、5 min 後移出，放回 25°C 水體環境中，計算其從麻醉至回復甦醒之時間，同時記錄試驗過程中蟹的行為表現與活存情形。

(二) 低溫耐受極限時間試驗

上述試驗結果顯示，8°C 及 6°C 兩溫度組間的差異不大，為減少試驗動物使用數量，以 6°C 進行本試驗，探討鋸緣青蟹在低溫麻醉操作的極限耐受時間。

供試之鋸緣青蟹平均重量為 217.4 ± 54.7 g，分為 4 組，每組 6 隻，製備 6°C 低溫海水，以曝氣石持續打氣，分別將鋸緣青蟹放入 6°C 海水中持續 10、30、60、120 min 後，移回 25°C 室溫水體，計算螃蟹從麻醉至回復甦醒之時間，並記錄其在試驗過程中的行為表現。

五、從低溫緊迫回復後的蓄養試驗

將低溫耐受性試驗中，於 6°C 低溫海水持續浸泡 1、2、3、5、10、30、60、120 min 後，在 25°C 海水回復甦醒之各試驗組鋸緣青蟹，單獨飼養在標準化的塑膠箱中 (水量 8 L)，溫度保持在 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 之間，鹽度 33 ± 2 psu，盒內 24 hr 流水，每天投餵下雜魚肉，蓄養 14 天後，計算鋸緣青蟹增重率及活存率。

六、統計分析

實驗結果以 SPSS (Statistical Products Service and Solutions) Windows 17.0 版統計套裝軟體進行 one-way ANOVA 分析，比較各試驗組間是否有差異，若達顯著水準 ($p \leq 0.05$)，則再以鄧氏多域測驗法 (Duncan's multiple range test) 進行平均值檢定。

結 果

一、低溫麻醉溫度測試試驗

鋸緣青蟹低溫麻醉分期與所產生的行為變化如 Table 1 所示 (Donaldson *et al.*, 2008)。試驗結果顯示，鋸緣青蟹在水溫 20、18、16 與 14°C 時，皆能正常活動，觸碰蟹體時，會出現揮動螯足、步足及夾動雙螯之反應。然當海水溫度降至 12°C 時，鋸緣青蟹逐漸出現對外界刺激不敏感，觸碰蟹體時螯足、步足無反應及僵硬的麻醉現象。

二、低溫麻醉試驗

根據上述試驗結果，自 12°C 開始降溫，以 12、10、8、6°C 等 4 種溫度，進行鋸緣青蟹低溫麻醉試驗，結果顯示 4 個試驗組麻醉所需時間分別為： 101.7 ± 17 sec (12°C)、 89.3 ± 15.6 sec (10°C)、 38.2 ± 4.4 sec (8°C) 以及 37.8 ± 4.4 sec (6°C)，即水體溫度越低，麻醉所需時間越短 (Fig. 1)。

鋸緣青蟹急速降溫麻醉後立即放回 25°C 室溫海水中之回復試驗結果顯示，12°C 組回復時間為 29.7 ± 6.8 sec，10°C 組 34.7 ± 4.1 sec，8°C 組 33.3 ± 4.9 sec，6°C 組 35.2 ± 5.9 sec，4 組之間無顯著差異，亦即麻醉後之回復時間，並未因水體溫度較低而明顯拉長 (Fig. 1)。

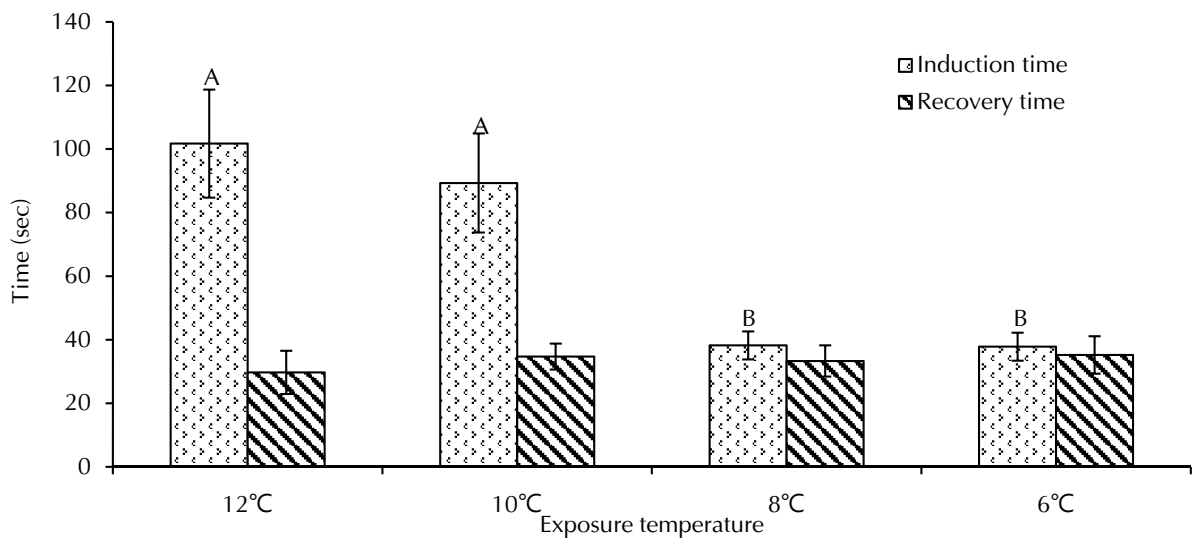
三、持續低溫耐受性試驗

(一) 低溫耐受性試驗

以 8°C、6°C 2 種低溫海水急速麻醉 1、2、3、5 min 後，放回室溫 25°C 海水中，結果顯示，無論是 8°C 或 6°C 試驗組，在低溫環境浸泡越久，回復時間也跟著增加。其中浸泡 1、2、3 min 者，6°C 組的平均回復時間均較 8°C 組為長；但停留

Table 1 Stages of cold anesthesia (modified from Quesada *et al.*, 2011)

Stage	Behavioral responses of mud crab
Normal	It responds quickly to stimulation by humans, raising its claws and moving rapidly.
Light anesthesia	Its walking legs and swimming legs move quickly to shift its body. The maxilliped beats rhythmically and rapidly. It quickly foams at the rostrum.
Deep anesthesia	It stops foaming at the rostrum and remains steady and calm. It is less sensitive to external stimuli but might raise its two claws.
Partial pereiopod stiff	It responds slowly to human handling, neither raising its two claws nor exhibiting aggressive behavior. When its ventral side is upward, it cannot flip back over by itself so that its back side is facing up. The pereiopods are partially stiff. The rhythmic beating rate of the maxilliped decreases slightly.
Total pereiopod stiff	The pereiopods show total stiffness. It cannot react to human handling. The rhythmic beating of the maxilliped is slow and irregular.
Loss of reflex reactivity	All of the pereiopods are limp and lack mobility. The rhythmic beating of the maxilliped is slower and the 3rd maxilliped cannot close.
Stage of asphyxia	It cannot respond to any kind of human handling. All of the pereiopods are limp. The movement of the maxilliped ceases.

**Fig. 1** The induction time and the recovery time of *Scylla serrata* in different temperatures of cold seawater (12, 10, 8 and 6°C). Bars (mean \pm std) with different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

5 min 者，6°C 組的平均回復時間反較 8°C 組短。惟經統計分析結果，各組 (2 種溫度、4 種時間) 之間並無顯著差異 (Fig. 2)。

(二) 低溫耐受極限時間試驗

鋸緣青蟹持續置於 6°C 低溫水體環境下 10、30、60、120 min 後，移回 25°C 室溫水體中，其回復時間分別為 150.2 ± 11.6 sec、 511.0 ± 34.7 sec、 603.2 ± 119.4 sec 及 4429.7 ± 110.9 sec，即隨著浸泡時間的拉長，回復時間也跟著增加。存活率方

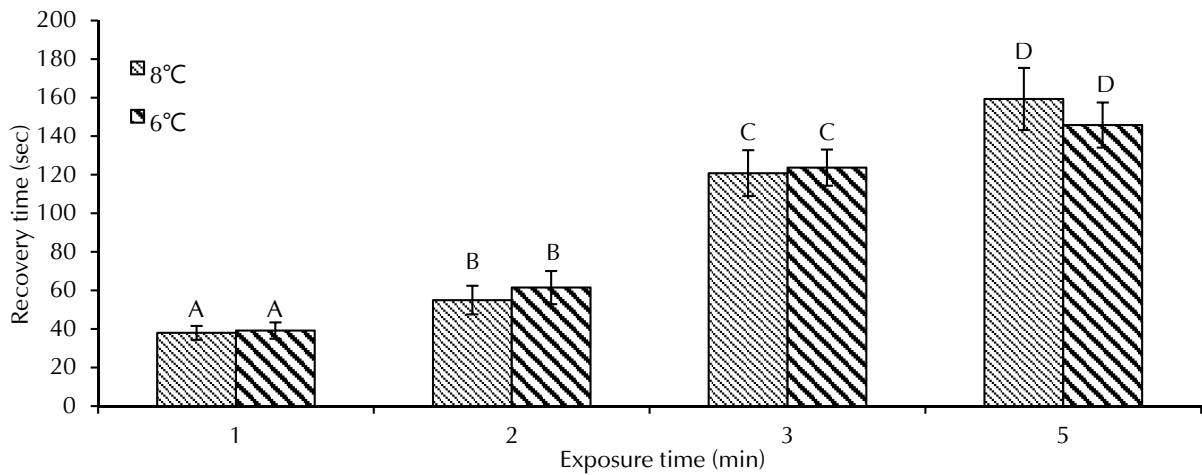


Fig. 2 The time required for *Scylla serrata* to recover in room-temperature seawater after immersion in 6°C and 8°C seawater for 1, 2, 3, or 5 min. Bars (mean ± std) with different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

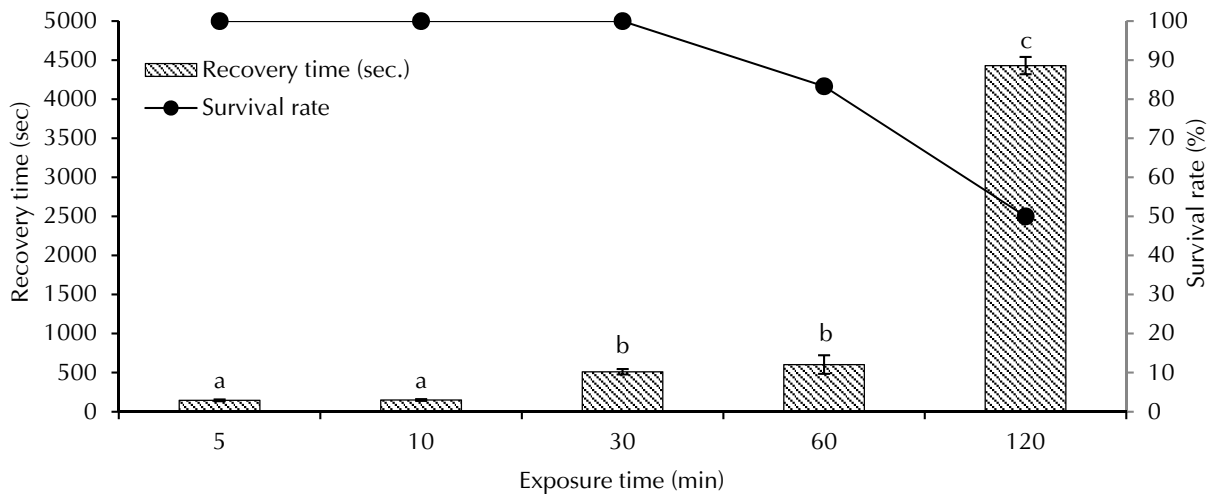


Fig. 3 The time required for *Scylla serrata* to recover in room-temperature seawater and the rate of survival after immersion in 6°C seawater for 5, 10, 30, 60 or 120 min. Bars (mean ± std) with different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

面，浸泡 10 與 30 min 組，鋸緣青蟹回復後的活存率皆達 100%；60 min 組，活存率降為 83.3%，至 120 min 時，活存率則僅有 50%，亦即停留於低溫環境時間越長，鋸緣青蟹回復後的存活率也越低 (Fig. 3)。

四、從低溫緊迫回復後的蓄養試驗

鋸緣青蟹以 6°C 低溫海水持續浸泡 0、1、2、3、5、10、30、60 與 120 min，並於回復室溫後持續蓄養 14 天，結果顯示，前六個處理組之鋸緣青蟹的活存率皆為 100%；但 60 與 120 min 處理組

則是在回復蓄養後的第 2 天即出現死亡，14 天的平均活存率僅分別為 83.8% 與 66.7%。

增重率方面，浸泡 0、1、2、3、5、10、30、60 與 120 min 組之增重率分別為 5.7、4.3、2.5、3.5、3.0、3.8、1.2、1.0 與 -2.3%，顯示從低溫緊迫回復後，蓄養的增重率隨浸泡時間拉長而下降，其中持續浸泡 30 min 以上者，其增重率顯著較對照組 (浸泡 0 min) 來得低，持續浸泡 120 min 組甚至呈現負成長 (Fig. 4)。

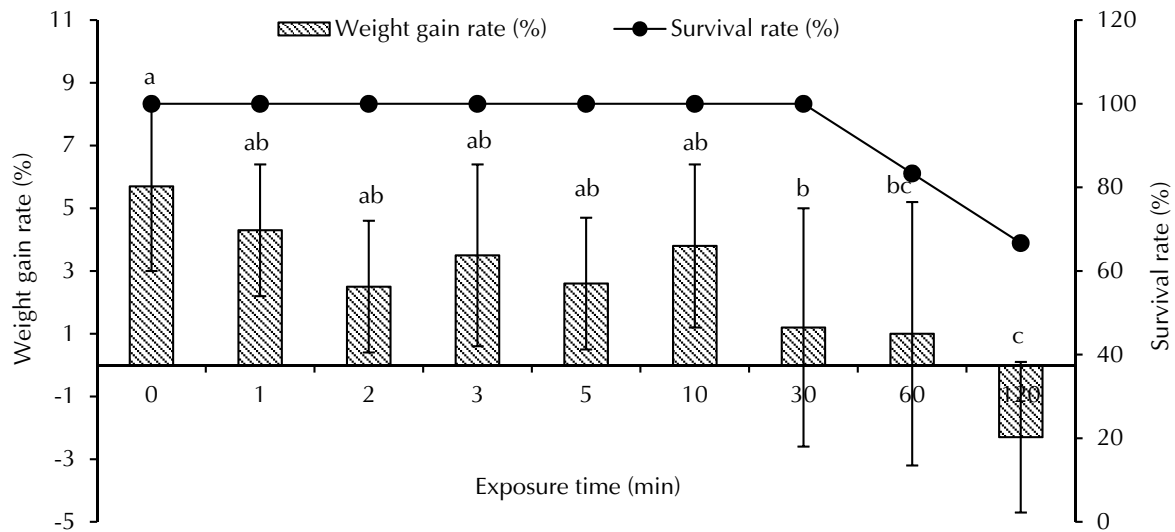


Fig. 4 The rate of weight gain and survival rate of feeding *Scylla serrata* in room-temperature seawater over 14 days, after induction in cold seawater (for 0, 1, 2, 3, 5, 10 and 30 min N=6; 60 min N=5; 120 min N=3). Bars (mean \pm std) with different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

討 論

鋸緣青蟹生活在熱帶、亞熱帶海域，因此對於低溫具敏感性，使用冰冷低溫的水可降低其活動力 (RSPCA, 2019)。本研究從 20°C 開始逐步降低溫度，進行鋸緣青蟹低溫麻醉試驗，結果顯示當水溫為 20°C、18°C、16°C 及 14°C 時，鋸緣青蟹仍具有活動能力，且對外部的刺激有揮動雙螯的防禦反應。惟當水溫降至 12°C 時，鋸緣青蟹逐漸出現活動力降低，對於刺激無抵抗或攻擊的麻醉現象。吳 (1991) 研究指出，當水溫低於 18°C 時，鋸緣青蟹會有活動力降低、攝食減少之現象；10°C 時行動與反應開始遲鈍，7°C 時，則停止攝食進入休眠。魚類也有類似現象，例如短鰭黃鱸鱒在 12°C、點帶石斑魚在 11°C 水溫環境時，會出現喪失平衡、呼吸速率減緩、活動力下降等情形 (林等, 2011)。

本研究探討低水溫麻醉鋸緣青蟹所需的時間，結果顯示曝露的溫度越低，出現麻醉現象的時間越短。在其他魚類的研究中，吳郭魚同樣有隨著水溫的降低出現昏迷現象所需的時間越短之情形 (李, 2012)。不管是魚類或甲殼類，在面臨低溫環境時，皆會經由生理的調節及代謝補償作用，逐漸達到新的恆定狀態以適應低溫環境，然而透過將水生生物急速放入低於其適合生存之溫度範圍的

水溫環境中，可使其快速進入喪失平衡及反應的昏迷麻醉階段，且隨著溫度的降低，所需時間也隨之縮短 (Donaldson *et al.*, 2008)。

鋸緣青蟹分別以 12、10、8 及 6°C 等低溫海水麻醉後，立即放回 25°C 海水中，結果顯示 4 個試驗組的回復時間無顯著差異，推測因處於低溫海水環境的時間不長，且麻醉後立即移出低溫環境，移入室溫海水，因此回復時間趨向一致，且水溫越低，麻醉所需時間越短，因此才會出現不同溫度麻醉後，回復時間無明顯差異的結果。

本研究顯示，水溫越低，鋸緣青蟹進入麻醉狀態所需的時間越短，在 12、10、8 及 6°C 等 4 個處理組中，麻醉所需時間最長為 12°C 組的 101.7 ± 17 sec，最短為 6°C 組的 37.8 ± 4.4 sec，短時間浸泡在低水溫環境，只使鋸緣青蟹活動力短暫停止，尚未達到停止神經傳遞訊息階段。研究指出，蟹類在冰水浸泡 2 min，仍然存在感覺細胞-中樞神經-心臟神經節間的傳遞反應，神經細胞之傳導和節律性調節繼續維持，且能夠偵測到感覺神經信息的傳遞及心率的搏動 (Marder, 2011; Tang *et al.*, 2012)。Weineck *et al.* (2018) 研究證實，藍蟹在低溫環境 4 min 時，感覺傳遞中樞神經系統與心臟或感覺傳遞中樞神經系統與骨骼肌間有反應，且仍可偵測到心率。本試驗中短時間急速低溫，僅使鋸緣青蟹出現昏迷現象，尚未達到神經傳導功能喪

失的完全麻醉狀態，因此短時間低溫麻醉的鋸緣青蟹回到室溫環境後，仍能快速回復。

隨著鋸緣青蟹在低溫水體麻醉時間越長，回復時間也隨之增加，在第一階進行短時間 1、2、3、5 min 持續低溫麻醉試驗，發現顯示浸泡低溫環境時間越久，於室溫回復活動力的時間越長，1、2、3 min 組回復時間隨浸泡時間而大幅增加，其中 3 min 組增加幅度最大，回復時間由 1 min 左右提高至 2 min。然而 6 與 8°C 兩試驗溫度組，在相同浸泡時間下，不論是麻醉所需時間結果或回復時間均未出現顯著差異，顯示降溫至 8°C，即可達到與 6°C 類似的效果，此一結果可應用在鋸緣青蟹的麻醉操作，即以較少的降溫耗能，得到相同的麻醉效果。

進一步探討鋸緣青蟹經較長時的低溫環境麻醉與回復情形，以及後續的蓄養存活率，以了解鋸緣青蟹對低溫麻醉之耐受極限，避免因麻醉及回復時間拉長，導致存活率下降的情形發生。本研究發現，隨浸泡於低溫水體中的時間越長，回復時間也增加。浸泡於 6°C 水體 30 min 組的回復時間顯著較 5 min 及 10 min 組增加，但與 60 min 組無顯著差異；120 min 組則顯著高於其他各組 (Fig. 3)。在回復存活率部分，5、10、30 min 組之回復存活率為 100%，但 60 min 組率下降至 80%，120 min 組之回復存活率更低至 50%。白蝦 *Litopenaeus vannamei* 於 4°C 低溫環境 4 min 時，會開始出現心跳速率和振幅消失，神經傳導停止，無法於室溫 35°C 海水中回復的情形 (Weineck *et al.*, 2018)。Meng *et al.* (2014) 指出，三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 長時間處於 6°C 環境下，會開始出現死亡現象。因此推測當鋸緣青蟹在 6°C 低溫環境下 60 min 時，神經傳遞反應會逐漸喪失，並出現麻醉後無法回復甚至導致死亡，與本研究之結果相符。不同的甲殼動物對低溫的耐受性也有所差異，較大型的甲殼類動物在低溫環境下 30 - 45 min 才會達到麻醉現象，然將其放回室溫水中時，其心率會迅速反彈，並在 2 - 5 min 後，對於環境刺激回復感覺與反應 (Marder, 2011; Tang, *et al.*, 2012)。鋸緣青蟹在 6°C 低溫環境 60 min 以上時，一部分已進入失去反射反應期 (loss of reflex reactivity)，螯足步足肌肉鬆弛無張力，顎足撥動更為緩慢幾乎停止，第

3 顎足攤開無法閉合，處於此階段時間越長，回復時間也隨之大幅增加，甚至達 9 倍以上。推測鋸緣青蟹於 6°C 大於 30 min 以上，已為其對低溫環境的耐受極限臨界點，除回復所需時間加倍，隨著於低溫環境時間的增長，部份蟹會由失去反射反應期進入昏厥階段 (stage of asphyxia)，呈現所有胸足、顎足攤開與停止撥動的狀態，推測此時鋸緣青蟹的心跳與呼吸幾近停止甚至出現死亡。

對照組 (浸泡於 6°C 海水 0 min) 與其他 5 個 (浸泡於 6°C 海水 1、2、3、5、10 min) 低溫麻醉處理組，從麻醉狀態回復後，繼續蓄養 14 天，結果顯示各組之鋸緣青蟹的攝食及活動力均正常，活存率 100%，增重率皆為正數。各組之增重率的標準差範圍較大，推測可能因為鋸緣青蟹經脫殼後才會成長，蓄養期間進入脫殼期者的增重會較尚未進入脫殼者大幅增加 (Fig. 4)。浸泡於 6°C 海水中 30、60 及 120 min 者之增重率顯著低於其他各組，前兩組之增重率僅達 1.5 與 1.0%，120 min 組甚至出現負數，推測較長的低溫環境，可能會影響其在回復後的攝食及成長。

觀察上述各試驗組回復後的蓄養情形，在 60 及 120 min 組活存的鋸緣青蟹，在前 2 天出現無法正常活動的僵硬現象，碰觸其雙螯時，無法高舉防禦及夾動，並有一些逐漸死亡。活存的鋸緣青蟹至第 3 天才恢復雙螯活動，開始有攝食現象，但活動力不佳。過往即有研究指出，甲殼類在面臨低溫環境時除了會降低基礎代謝率，還會發生肌肉僵硬現象 (Marder, 2011)。曝露在低溫環境的藍蟹、克氏原螯蝦 (*Procambarus clarkia*)，透過肌電圖監測可發現其肌肉反應有減弱的現象 (Weineck *et al.*, 2018)。推測於 6°C 低溫海水環境較長時間，鋸緣青蟹已進入失去反射反應期，胸足喪失了肌肉張力，部分甚至呈現昏厥階段，顎足完全癱軟。放回室溫水體中雖然回復活動力，仍因無法完全恢復其正常神經傳遞，而出現螯足無法回復正常夾動的現象。

結 論

適當的麻醉不但可避免在進行研究、檢疫及捕撈過程中，使水產動物承受非必要的緊迫，也能減少操作人員承受過多的精神壓力及未預期的傷

害。本研究成果有助於建立鋸緣青蟹在商業操作時的麻醉程序，除維護動物福祉，避免其遭受不必要的傷害與緊迫，同時可減少螃蟹相互攻擊所導致的斷肢斷螯。根據本研究之試驗結果，建議放入 8°C 低溫海水 5 min 即可達麻醉效果，而後再置於 25°C 水溫下回復，如此不僅不會影響鋸緣青蟹的後續活存，且有助於提高捕捉、捆綁、包裝等處理過程的效率。

參考文獻

- 李林春 (2012) 鹽度對尼羅羅非魚低溫耐受性影響研究. 中國農學通報, 28(35): 82-86.
- 吳琴瑟 (1991) 蝦蟹養殖高產技術. 農業出版社, 中國, 上海, pp. 121-178.
- 何源興, 王淵良 (1998) 二種麻醉劑對九孔稚貝之剝離效果. 水產研究, 6(1): 17-23.
- 林峰右, 吳育甄, 沈子耘, 許晉榮, 葉信利 (2011) 短鰭黃鱸對低溫緊迫耐受性研究. 水產研究, 19 (2): 37-43.
- 許晉榮 (1998) 以 2-phenoxyethanol 麻醉草蝦可能性之探討. 台南水試研報, 2: 1-8.
- Albalat, A., S. Sinclair, J. Laurie, A. Taylor and D. M. Neil (2010) Targeting the live market: recovery of Norway lobsters *Nephrops norvegicus* (L.) from trawl-capture as assessed by stress-related parameters and nucleotide breakdown. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 395(1-2): 206-214.
- Braithwaite, V. A. and P. Boulcott (2007) Pain perception, aversion and fear in fish. Dis. Aquat. Org., 75(2): 131-138.
- Diggles, B. K. (2018) Review of some scientific issues related to crustacean welfare. ICES J. Mar. Sci., 76(1): 66-81.
- Donaldson M. R., J. S. Cook, D. A. Patterson and J. S. Macdonald (2008) Cold shock and fish. J. Fish Biol., 73(7): 1491-1530.
- EFSA (European Food Safety Authority) (2005) Aspects of the biology and welfare of animals used for experimental and other scientific purposes. EFSA J., 292: 1-136.
- FAO (2019) Food and Agriculture Organization of the United Nations, available online: <http://www.fao.org/figis/servlet/TabSelector#lastno> declicked (accessed on 16 April 2019).
- Forward, R. B. (1990) Behavioural responses of crustacean larvae to rates of temperature change. Biol. Bull., 178(3): 195-204.
- Fotedar, S. and L. Evans (2011) Health management during handling and live transport of crustaceans: A review. J. Invertebr. Pathol., 106(1): 143-152.
- Lagerspetz, K. Y. and L. A. Vainio (2006) Thermal behaviour of crustaceans. Biol. Rev., 81(2): 237-258.
- Marder, E. (2011) Variability, compensation, and modulation in neurons and circuits. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 108 (Suppl., 3): 15542-15548.
- Meng, X. L., P. Liu, J. Li, B. W. Gao and P. Chen (2014) Physiological responses of swimming crab *Portunus trituberculatus* under cold acclimation: antioxidant defense and heat shock proteins. Aquaculture, 434: 11-17.
- Neil, D. M. (2012) Ensuring crustacean product quality in the post-harvest phase. J. Invertebr. Pathol., 110(2): 267-275.
- Payette, A. L. and I. J. McGaw (2003) Thermoregulatory behavior of the crayfish *Procambarus clarkii* in a burrow environment. Comp. Biochem. Physiol., 136(3) A: 539-556.
- Puri, S. and Z. Faulkes (2015) Can crayfish take the heat? *Procambarus clarkii* show nociceptive behaviour to high temperature stimuli, but not low temperature or chemical stimuli. Biol. Open, 4(4): 441-448.
- Quesada, R. J., C. D. Smith, and D. J. Heard (2011) Evaluation of parenteral drugs for anesthesia in the blue crab (*Callinectes sapidus*). J. Zoo Wildlife Med., 42(2): 295-299.
- RSPCA (Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals, Australia) (2019) Humane killing and processing of crustaceans for human consumption. Available online: https://kb.rspca.org.au/what-is-the-most-humane-way-to-kill-crustaceans-for-humanconsumption_625.html (accessed on 10 April 2019).
- Späth, M. and W. Schweickert (1977) The effect of metacaine (MS-222) on the activity of the efferent and afferent nerves in the teleost lateral-line system. Naunyn-Schmiedeberg's Arch. Pharmacol., 297(1): 9-16.
- Stevens, E.D., R. Arlinghaus, H. I. Browman, S. J. Cooke, I. G. Cowx, and B. K. Diggles (2016) Stress is not pain. Comment on Elwood and Adams (2015) Electric shock causes physiological stress responses in shore crabs, consistent with prediction of pain. Biol. Lett., 12(4): 20151006.
- Summerfelt, R. C. and L. S. Smith (1990) Anaesthesia, surgery and related techniques. In Methods for Fish

- Biology (C. B. Schreck, and P. B. Moyle eds.), Am. Fish. Soc., Bethesda, MD, U.S.A., 213-272.
- Sneddon, L. U. (2002) Anatomical and electrophysiological analysis of the trigeminal nerve in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Neurosci. Lett.*, 319(3): 167–171.
- Sneddon, L. U. (2003) The evidence for pain in fish: the use of morphine as an analgesic. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 83(2): 153-62.
- Tang, L. S., A. L. Taylo, A. Rinberg and E. Marder (2012) Robustness of a rhythmic circuit to short- and longterm temperature changes. *J. Neurosci.*, 32(29): 10075-10085.
- Tania, M. and T. Kuramoto (1998) Cool-sensitive neurons in the ventral nerve cord of crustaceans. *Comp. Biochem. Physiol.*, 119(3) A: 845-852.
- Weineck, K., A. Ray, L. Fleckenstein, M. Medley, N. Dzubuk, E. Piana and R. Cooper (2018) Physiological changes as a measure of crustacean welfare under different standardized stunning techniques: Cooling and electroshock. *Animals*, 8(9): 158.

Anesthetic Effects of Low Temperature on the Mud Crab (*Scylla serrata*)

Fun-You Lin¹, Yu-Chen Wu^{1,2*}, Yi-Shun Hu¹, Zih-Jie Wei¹ and Shinn-Lih Yeh¹

¹Mariculture Research Center, Fisheries Research Institute

²Institute of Ocean Technology and Marine Affairs, National Cheng Kung University

ABSTRACT

Low temperature storage is currently a common method of reducing the activity of crustaceans to reduce their damage during commercial sales and to ensure the safety of operators. This study investigated the anesthetic response and recovery of mud crab (*Scylla serrata*) in different low temperature environments. The results indicated that the mud crab would be anesthetized at 12°C and the anesthesia time decreased with the water temperature decreased, but there was no significant difference in recovery time. Exposed to low water temperature for a long time, the recovery time increased with the temperature decreased. After 60 minutes exposed to 6 °C water temperature, the mud crabs began to die, and the survival rate dropped to 83.3%. After the low-temperature tolerance experiment at 6 °C, the mud crabs were reared at room temperature for 14 days, and deaths were found in two groups at 60 minutes and 120 minutes of exposure, and the survival rates were 83.8% and 66.7%, respectively.

Key words: *Scylla serrate*, anesthetic, low temperature, animal welfare

*Correspondence: 4, Haipu, Sangu, Qigu Dist., Tainan, Taiwan. TEL: (06) 788-0461 ext. 228; Fax: (06) 788-1597; E-mail: ycwu@mail.tfrin.gov.tw